

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Off nlegungsschrift  
(10) DE 39 34 865 A 1

(21) Aktenzeichen: P 39 34 865.2  
(22) Anmeldetag: 19. 10. 89  
(43) Offenlegungstag: 25. 4. 91

(51) Int. Cl. 4:  
H 01 S 3/098  
H 01 S 3/082  
H 01 S 3/105  
G 02 B 6/12  
H 01 S 3/19

DE 39 34 865 A 1

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

(72) Erfinder:  
Stegmüller, Bernhard, Dr.-Ing., 8900 Augsburg, DE

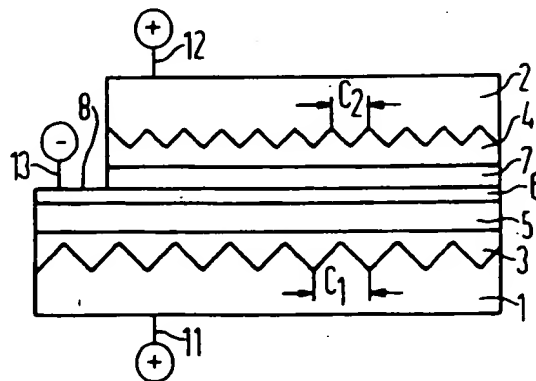
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	24 47 536 C2
DE	37 04 622 A1
DE	34 45 725 A1
DE	25 37 093 A1
DE	24 47 536 A1
DD	2 46 199 A1
US	48 47 857
US	48 35 779
US	48 03 690
US	47 30 330
US	47 26 031
EP	02 54 568 A2
EP	3 09 744 A2

JP Abstracts of Japan: 63 147388 A., E-675, Oct. 27, 1988, Vol.12, No.407;  
63 70588 A., E-645, Aug. 10, 1988, Vol.12, No.293;  
63 20892 A., E-627, June 28, 1988, Vol.12, No.228;  
63 186 A., E-619, June 9, 1988, Vol.12, No.200;  
62 221183 A., E-591, March 17, 1988, Vol.12, No. 85;  
61 212085 A., E-480, Febr.17, 1987, Vol.11, No. 51;

(54) Hochfrequent modulierbarer Halbleiterlaser

Halbleiterlaser mit einem ersten DFB-Gitter (3) mit einer ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ) und mit einem zweiten DFB-Gitter (4) mit einer zweiten Gitterkonstanten ( $C_2$ ), die von der ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ) verschieden ist, mit mindestens einer ersten Wellenleiterschicht (5) oder einer ersten Wellenleiterschicht (5) und mindestens einer über eine Zwischenschicht (6) mit dieser ersten Wellenleiterschicht (5) verkoppelten zweiten Wellenleiterschicht (7) zwischen dem ersten DFB-Gitter (3) und dem zweiten DFB-Gitter (4).



DE 39 34 865 A 1

Halbleiterlaser sind sehr leistungsfähige Sender für die optische Übertragungstechnik, da sich mit ihnen elektrooptische Signalumwandlung im GHz-Bereich durchführen läßt. Die Modulationsbandbreite ist auf ca. 30 GHz beschränkt, wenn nur die Verkopplung zwischen elektrischen Ladungsträgern und Photonen ausgenutzt wird, da die Lebensdauer der elektrischen Ladungsträger nicht beliebig reduziert werden kann.

Modulierte optische Signale mit Modulationsfrequenzen oberhalb von 30 GHz wurden bisher mit Halbleiterlasern erzeugt, indem die elektromagnetischen Wellen der Fabry-Perot-Moden dieser Laser durch Modulation verkoppelt wurden (mode locking).

In der Veröffentlichung von J. Werner, G. Guekos und H. Melchior: "Laser diode with an integrated gain/loss modulator for the generation of picosecond optical pulses by active mode locking", 17th European Solid State Device Research Conference (ESSDERC '87), S. 1065–1068 ist eine Lasieranordnung beschrieben, bei der ein Halbleiterlaser mit einem Modulator integriert ist und zur Erzeugung von optischen Pulsen mit einer Dauer von 8 ps ein mit einem Reflexionsgitter versehener externer Resonator angekoppelt ist. Dieser externe Resonator bewirkt eine Modenkopplung.

In der Veröffentlichung von K.Y. Lau: "Efficient narrowband direct modulation of semiconductor injection laser at millimeter wave frequencies of 100 GHz and beyond" in Appl. Phys. Lett. 52, 2214–2216 (1988) wird die Modenkopplung für Modulationsfrequenzen oberhalb 100 GHz bei einem GaAlAs-Laser mit Tandem-Kontakt beschrieben.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen einfach aufgebauten mit Frequenzen oberhalb 30 GHz modulierbaren Halbleiterlaser anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit dem Halbleiterlaser mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Es folgt eine Beschreibung des erfindungsgemäßen Halbleiterlasers anhand der Fig. 1 bis 3.

Fig. 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Halbleiterlaser mit einer Wellenleiterschicht im Querschnitt.

Fig. 2 zeigt einen erfindungsgemäßen Halbleiterlaser mit zwei getrennten Wellenleiterschichten im Querschnitt.

Fig. 3 zeigt den erfindungsgemäßen Halbleiterlaser von Fig. 2 in einer alternativen Ausgestaltung im Querschnitt.

Der wesentliche Gedanke der vorliegenden Erfindung liegt darin, daß bei dem Halbleiterlaser zwei miteinander zu verkoppelnde Moden durch zwei in der Umgebung der aktiven Schicht sich befindende Gitter selektiert werden. Die Modulationsfrequenz entspricht der halben Differenzfrequenz dieser beiden selektierten Moden oder ganzzahligen Vielfachen davon. Ein erfindungsgemäßer Aufbau besteht in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 in einem Wellenleiter mit einer Wellenleiterschicht 5, an die eine erste DFB-Gitterschicht und eine zweite DFB-Gitterschicht transversal anschließen. Das erste DFB-Gitter 3 in der ersten DFB-Gitterschicht und das zweite DFB-Gitter 4 in der zweiten DFB-Gitterschicht sind parallel zu der Wellenleiterschicht 5 in longitudinaler Richtung angeordnet. Durch diese beiden DFB-Gitter werden zwei Schwingungsmoden in der als aktive Schicht fungierenden Wellenleiterschicht 5 selektiert. Die erste Gitterkonstante  $C_1$  des ersten DFB-Gitters 3 und die zweite Gitterkonstante  $C_2$  des zweiten

DFB-Gitters 4 sind voneinander verschieden, wobei diese Differenz der Gitterkonstanten  $C_1$ ,  $C_2$  so klein ist, daß das Vierfache dieser Differenz oder ganzzahlige Teile davon die Wellenlänge ist, die der Modulationsfrequenz im GHz-Bereich entspricht.

Die Wellenleiterstruktur ist mit einer ersten Deckschicht 1 und einer zweiten Deckschicht 2 transversal begrenzt. Die Wellenleiterstruktur, d. h. die Wellenleiterschicht 5, die erste DFB-Gitterschicht und die zweite DFB-Gitterschicht sind z. B. aus InGaAsP, die erste und zweite Deckschicht 1, 2 aus InP. Die erste Deckschicht 1 und die erste DFB-Gitterschicht sind für elektrische Leitung eines ersten Leitungstyps (z. B. n), die zweite Deckschicht 2 und die zweite DFB-Gitterschicht für elektrische Leitung eines entgegengesetzten zweiten Leitungstyps (z. B. p) dotiert. Die Wellenleiterschicht 5 ist dotiert (n- oder p-leitend) oder sie bleibt undotiert. Über eine erste Elektrode 11 auf der ersten Deckschicht 1 und eine zweite Elektrode 12 auf der zweiten Deckschicht 2 kann ein Betriebsstrom an diese Wellenleiterstruktur angelegt werden.

Die Materialzusammensetzung für die Wellenleiterschicht 5, die als aktive Schicht fungiert, wird vorteilhaft so gewählt, daß die dem Energiebandabstand dieser Materialzusammensetzung entsprechende Wellenlänge näherungsweise gleich dem Zweifachen der ersten Gitterkonstanten  $C_1$  und näherungsweise gleich dem Zweifachen der sich von der ersten Gitterkonstanten  $C_1$  nur geringfügig unterscheidenden zweiten Gitterkonstanten  $C_2$  ist.

Für die Wellenleiterstruktur des erfindungsgemäßen Halbleiterlasers sind verschiedene, prinzipiell gleichwertige Ausführungsformen möglich. Die Wellenleiterstruktur kann aus einem einzelnen Wellenleiter bestehen, der gleichzeitig als aktiver Bereich zur Erzeugung des Laserlichtes dient. Dieser aktive Bereich ist in der Ausführungsform nach Fig. 1 die Wellenleiterschicht 5. Das erste DFB-Gitter 3 in der ersten DFB-Gitterschicht und das zweite DFB-Gitter 4 in der zweiten DFB-Gitterschicht können auch in diese Wellenleiterschicht 5 eingebaut sein. Möglich sind für die Wellenleiterstruktur Doppelheterostrukturen (DH), Quantum-well-Strukturen (QW, Single-QW) oder Multi-quantum-well-Strukturen (Multi-QW), jeweils mit oder ohne separate Wellenführungsschichten (SC, separate confinement). Während die elektronische Wellenführung im wesentlichen durch die Dotierung, d. h. den Leitfähigkeitstyp, gegeben ist, sorgen separate Wellenführungsschichten für eine optische Wellenführung, d. h. diese separaten Wellenführungsschichten sind aus einem Material mit gegenüber der Wellenleiterschicht 5 unterschiedlichem Brechungsindex. Diese separaten Wellenführungsschichten können zwischen der Wellenleiterschicht 5 und der ersten DFB-Gitterschicht bzw. der zweiten DFB-Gitterschicht oder an den der Wellenleiterschicht 5 jeweils abgewandten Begrenzungsflächen der DFB-Gitterschichten eingebaut sein, oder das erste und zweite DFB-Gitter 3, 4 sind in Schichten, die eine separate Wellenführung bewirken, eingebaut.

Wesentlich ist in jedem Fall, daß zwei DFB-Gitter mit voneinander geringfügig verschiedenen Gitterkonstanten so an einen als Resonator ausgebildeten Wellenleiter angekoppelt sind, daß gerade zwei miteinander hochfrequent zu verkoppelnde Schwingungsmoden selektiert werden.

Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterlasers im Querschnitt, bei der die Wellenleiterschicht 5 durch eine Struktur aus

zwei verkoppelten einzelnen Wellenleitern, nämlich einer ersten Wellenleiterschicht 5, einer zweiten Wellenleiterschicht 7 und einer dazwischen befindlichen Zwischenschicht 6 ersetzt ist. Die zweite Wellenleiterschicht 7 kann in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wie die erste Wellenleiterschicht 5 InGaAsP sein. Die Zwischenschicht 6 ist vorteilhaft InP und für elektrische Leitungen desselben Leitungstyps wie die zweite Wellenleiterschicht 7, die zweite DFB-Gitterschicht 4 und die zweite Deckschicht 2 dotiert. Über eine erste Elektrode 11 und eine zweite Elektrode 12 kann an diese Struktur ein Betriebsstrom angelegt werden.

Die erste Gitterkonstante  $C_1$  und die zweite Gitterkonstante  $C_2$  sind wieder geringfügig voneinander verschieden, entsprechend der halben Wellenlänge, die zu der Differenz der Schwingungsfrequenzen der beiden zu selektierenden Moden gehört. Wenn die intrinsisch oder p- oder n-dotierte erste Wellenleiterschicht als aktive Schicht zur Strahlungserzeugung eingesetzt wird, sollte die dem Energiebandabstand des Materials dieser ersten Wellenleiterschicht 5 entsprechende Wellenlänge näherungsweise gleich der zweifachen ersten Gitterkonstanten des ersten DFB-Gitters 3 in der ersten DFB-Gitterschicht sein. Der Energiebandabstand des Materials der zweiten Wellenleiterschicht 7 soll größer sein als der Energiebandabstand der ersten Wellenleiterschicht 5.

In einer speziellen Ausführungsform kann die Materialzusammensetzung der ersten Wellenleiterschicht 5 gleich der Materialzusammensetzung der zweiten Wellenleiterschicht 7 sein.

Die Ausführungsform nach Fig. 3 unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, daß eine dritte Elektrode 13 auf einer freien Oberfläche 8 der Zwischenschicht 6 aufgebracht ist. Bei dieser Ausführungsform erfolgt die Dotierung der Schichten symmetrisch zur Zwischenschicht 6, die für elektrische Leitungen eines ersten Leitungstyps dotiert ist. Die erste Wellenleiterschicht 5 und die zweite Wellenleiterschicht 7 sind intrinsisch dotiert oder p- oder n-dotiert. Das erste DFB-Gitter 3 in der ersten DFB-Gitterschicht und das zweite DFB-Gitter 4 in der zweiten DFB-Gitterschicht sowie die erste Deckschicht 1 und die zweite Deckschicht 2 sind für elektrische Leitungen eines in bezug auf die Zwischenschicht 6 entgegengesetzten zweiten Leitungstyps dotiert. Der Betriebsstrom wird für beide Wellenleiterschichten 5, 7 zentral über die dritte Elektrode und die Zwischenschicht 6 zugeführt. Ein Vorteil dieser Anordnung ist, daß durch Einstellen des Betriebsstromes eine der Wellenleiterschichten aktiv und die andere passiv betrieben werden kann. So kann z. B. der Betriebsstrom zwischen der ersten Elektrode 11 und der dritten Elektrode 13 unterhalb der Anregungsschwelle für Laserstrahlung in der ersten Wellenleiterschicht 5 liegen, so daß diese erste Wellenleiterschicht 5 als passive Wellenleiterschicht betrieben wird. Über die Höhe des anliegenden Betriebsstromes kann der Brechungsindex in dieser ersten Wellenleiterschicht 5 geändert werden, so daß die Frequenz der durch das erste DFB-Gitter 3 in der ersten DFB-Gitterschicht in dieser ersten Wellenleiterschicht 5 selektierten Mode variiert werden kann. Die zweite Wellenleiterschicht 7 wird dann über den zwischen die zweite Elektrode 12 und die dritte Elektrode 13 angelegten Betriebsstrom oberhalb der Anregungsschwelle, also aktiv betrieben. Für die jeweils aktiv betriebene Schicht sollte wieder die Näherungsgleichung zwischen der Gitterkonstanten des unmittelbar zugeordneten Gitters und der halben der betreffen-

den Materialzusammensetzung entsprechenden Wellenlänge erfüllt sein. Auch bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 können die beiden Wellenleiterschichten 5, 7 entweder aus dem gleichen Material sein und die gleiche Dicke, d. h. transversale Abmessung aufweisen oder voneinander verschieden sein. Die Zusammensetzung der Materialien der beiden Wellenleiterschichten 5, 7 sollte nicht so verschieden sein, daß die den Energiebandabständen entsprechenden Wellenlängen um mehr als  $0,5 \mu\text{m}$  verschieden sind.

Wesentlich für die erfindungsgemäße Anordnung ist, daß die verschiedenen Schichten und die Gitter so dimensioniert sind, daß die Intensitäten der Strahlungsmoden auf diesen Wellenleiterstrukturen etwa gleichmäßig auf beide Wellenleiterschichten verteilt ist.

Außerdem können die Spiegel der durch diese Wellenleiter gebildeten Resonatoren (Endflächen des gespaltenen Halbleiterschichtaufbaus) zusätzlich beschichtet sein, um die Reflexion der Strahlung zu erhöhen (bis zu vollständiger Reflexion). Für jede der vorhandenen Wellenleiterschichten 5, 7 kommen verschiedene Strukturen, wie z. B. Doppelheterostruktur oder Quantum-well-Struktur, in Frage. Ebenso ist es möglich, eines der vorgesehenen Gitter zwischen diese Wellenleiterschichten einzubauen.

Wesentlich ist dabei, daß von den auf der Wellenleiterstruktur ausbreitungsfähigen Moden jeweils zwei, mit einer der Modulationsfrequenz entsprechenden Differenz der Wellenlängen, selektiert werden, wobei diese Moden durch die Modulationsfrequenz verkoppelt werden.

#### Patentansprüche

1. Halbleiterlaser mit einer Wellenleiterstruktur mit mindestens einer für Strahlungserzeugung vorgesehenen ersten Wellenleiterschicht (5) aus einem Halbleitermaterial mit einem ersten Energiebandabstand und
  - mit einem an diese erste Wellenleiterschicht (5) für Modenselektion angekoppelten ersten DFB-Gitter (3) mit einer ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ),
  - wobei das Zweifache dieser ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ) näherungsweise gleich der Wellenlänge ist, die dem ersten Energiebandabstand entspricht, dadurch gekennzeichnet,
  - daß an diese Wellenleiterstruktur ein zweites DFB-Gitter (4) mit einer zweiten Gitterkonstanten ( $C_2$ ) für Modenselektion angekoppelt ist,
  - daß diese zweite Gitterkonstante ( $C_2$ ) von der ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ) verschieden ist und
  - daß das Zweifache des Absolutbetrages der Differenz zwischen der ersten Gitterkonstanten ( $C_1$ ) und der zweiten Gitterkonstanten ( $C_2$ ) gleich der Wellenlänge ist, die einer für Modenkopplung vorgesehenen Modulationsfrequenz entspricht.
2. Halbleiterlaser nach Anspruch 1,
  - bei dem die erste Wellenleiterschicht (5) transversal durch zwei einander gegenüberliegende sich in Längsrichtung erstreckende Flächen begrenzt ist und
  - bei dem das erste DFB-Gitter (3) sich longitudinal entlang und parallel zu einer dieser Flächen erstreckt, dadurch gekennzeichnet,

- daß auf der diesem ersten DFB-Gitter (3) gegenüberliegenden Seite der ersten Wellenleiterschicht (5) das zweite DFB-Gitter (4) ausgebildet ist und
  - daß sich dieses zweite DFB-Gitter (4) longitudinal entlang und parallel zu der anderen die erste Wellenleiterschicht (5) transversal begrenzenden Fläche erstreckt.
3. Halbleiterlaser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
- daß zwischen der ersten Wellenleiterschicht (5) und dem zweiten DFB-Gitter (4) mindestens eine zweite Wellenleiterschicht (7) angeordnet ist,
  - daß zwischen der ersten Wellenleiterschicht (5) und dieser zweiten Wellenleiterschicht (7) eine die erste Wellenleiterschicht (5) von der zweiten Wellenleiterschicht (7) abgrenzende Zwischenschicht (6) angeordnet ist,
  - daß die erste Wellenleiterschicht (5) und die zweite Wellenleiterschicht (7) über diese Zwischenschicht (6) verkoppelt sind und
  - daß die Anordnung der ersten Wellenleiterschicht (5), der zweiten Wellenleiterschicht (7), der Zwischenschicht (6), des ersten DFB-Gitters (3) und des zweiten DFB-Gitters (4) so dimensioniert ist, daß die Intensität der Strahlungsmoden etwa gleichmäßig auf die erste Wellenleiterschicht (5) und die zweite Wellenleiterschicht (7) verteilt ist.
4. Halbleiterlaser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Wellenleiterschicht (5) eine andere transversale Abmessung hat als die zweite Wellenleiterschicht (7).
5. Halbleiterlaser nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,
- daß die erste Wellenleiterschicht (5) aus einem anderen Material ist als die zweite Wellenleiterschicht (7) und
  - daß die Differenz der Wellenlängen, die dem Energiebandabstand des Materials der ersten Wellenleiterschicht (5) bzw. dem Energiebandabstand des Materials der zweiten Wellenleiterschicht (7) entsprechen, maximal  $0,5 \mu\text{m}$  ist.
6. Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Wellenleiterschicht (5) für elektrische Leitung eines ersten Leitungstyps und die zweite Wellenleiterschicht (7) für elektrische Leitung eines entgegengesetzten zweiten Leitungstyps dotiert ist.
7. Halbleiterlaser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Wellenleiterschicht (5) und die zweite Wellenleiterschicht (7) gleichartig aufgebaut sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

FIG 1

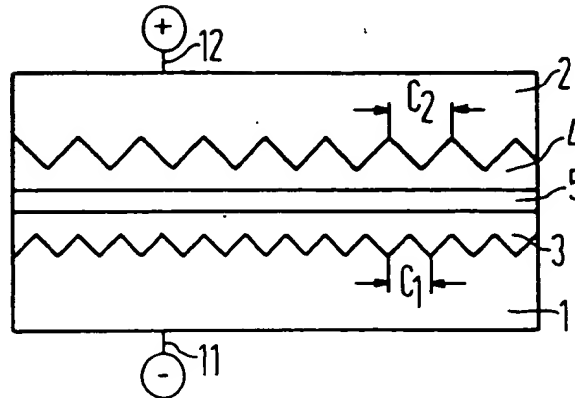


FIG2

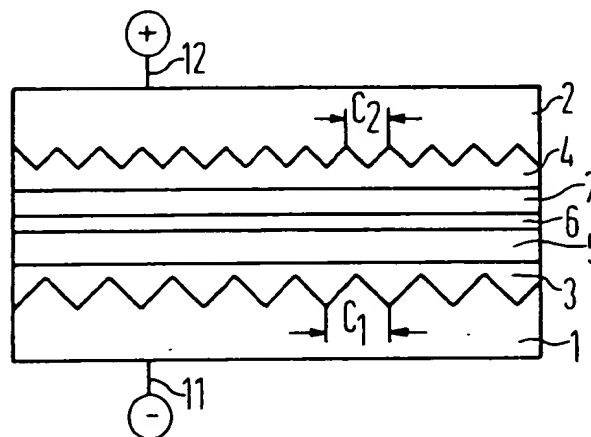
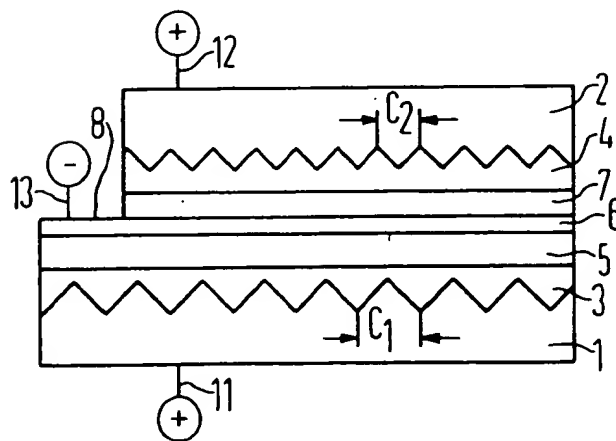


FIG3



Docket # A-2881  
 Applic. # 09/904,525  
 Applicant: Bernard Beis

Lerner and Greenberg, P.A.  
 Post Office Box 2480  
 Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101